图书情报工作
第63卷 第6期 2019年3月

基于SAO结构的创新解决方案遴选研究*
——以空气净化技术为例

付芸[1] 汪雪锋[2] 李佳[2] 侯雨佳[2]
[1] 中国科学院文献情报中心 北京 100190 [2] 北京理工大学管理与经济学院 北京 100081

摘要：[目的/意义]面对竞争日益激烈的社会环境，创新是企业的立足之本、生存之道。创新的范围不仅包括在本领域创造新的产品、技术等，还包括将其他领域出现的新产品、新技术引入本领域，且后者更为容易。但随着学科领域专业化程度越来越高，科研人员没有过多精力去掌握本领域之外的知识，因此需要借助科学的方法和技术来探索不同领域知识间深层次的联系。[方法/过程]借鉴LRDI方法的分析流程，提出基于SAO结构的创新解决方案遴选方法，以目标研究领域具体研究问题为出发点，在全领域寻找潜在解决方案，并从技术可行性以及预期效果两方面对这些潜在解决方案进行评价，形成适用于目标研究领域的优先推荐创新解决方案。[结果/结论]以空气净化技术为例开展实证研究，研究结果表明部分创新解决方案已经在空气净化技术领域得到有效应用，进一步证实了本研究方法的可行性和有效性。

关键词：创新解决方案 SAO结构 关联文献知识发现(LRDI) 技术路线图 空气净化技术
分类号：C93.03
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2019.06.010

1 引言

尽管科学技术的发展使得专业领域划分越来越精细，但在实际的分析工作中可以发现，不同领域间研究的问题呈现高度的交叉融合。因此，如果能够从特定研究问题出发，而不限制其研究领域，则可能找到更多潜在的解决方案。但对于研究人员来说，仅仅深入了解其所在领域的专业知识就已经需要花去他们太多的精力，如果让他们再花费时间去深入掌握其他领域的知识几乎是不现实的。所以，研究人员通常会有选择或者有针对性地阅读部分材料，但这样很容易导致部分信息甚至是重要信息被遗漏，很难全面分析知识之间的深层次联系。因此，需要借助科学的分析方法和工具将目标领域与其他领域知识关联起来，从其他领域获得灵感和启发，为目标领域问题研究提供更多创新性的解决方案。

综合分析国内外创新解决方案相关研究，可以将其分为两类：一个是预测新技术和产品，另一个是运用现存的技术和产品[1]。前者是指新的技术或者产品还未在目标领域产生但是预测将来可能会产生[2]，一般比较适用于领域内领头企业。后者更倾向于开放创新的思想[3]，其主要关注点在于利用公司现存的技术或者产品分析可能的技术创新机会。这对于一个有技术基础的公司而言，特别是中小型企业，能够以最少的资源实现R&D能力的扩展。本文的创新解决方案研究也是落脚在利用现存的技术和产品这一方向。目前，利用现存技术和产品寻找技术创新机会的研究一部分集中在目标研究领域本身范围内[4-6]，也有部分将目标领域当前存在的技术以及产品扩展到其他更广阔的应用领域，比如韩国学者J. Yoon及其团队[7]。目前关于应用和借鉴其他领域的技术或者产品等来解决目标研究领域的相关问题的研究较多，在生物、医学领域研究较为成熟的方法是Literature-Related Discovery Innovation (LRDI)[8]，随着学者们对LRDI方法的发扬光大，这一方法目前应用领域十分广泛，本研究也是在这一思想的启发下开展的。

* 本文系国家自然科学基金面上项目“基于SAO语义挖掘的技术研发合作伙伴识别与选择方法研究”(项目编号：71774012)研究成果之一。
作者简介：付芸(ORCID：0000-0001-9975-2007)，助理馆员，硕士；汪雪锋(ORCID：0000-0002-4857-6944)，教授，博士，博士生导师，通讯作者，E-mail：wxf5122@bit.edu.cn；李佳(ORCID：0000-0001-6956-876X)，硕士研究生；侯雨佳(ORCID：0000-0001-6115-3607)，硕士研究生。
收稿日期：2017-11-13 修回日期：2018-08-28 本文起止页码：75-84 本文责任编辑：易飞

LRDI 研究方法是在 D. R. Swanson 教授于 1986 年提出的 Literature Based Discovery(LBD)方法基础上发展而来的[9]。LBD 方法的提出源于研究领域的高度细分和越来越深的专业化程度,这种过度专业化导致了所谓的"知识分裂"现象[10]。彼此分离的专业化知识单元在产生时可以看作是彼此独立的,尽管它们之间存在很明显的逻辑关系,却经常被人忽视,即未发现的公开知识(Undiscovered Public Knowledge)。只有使用一定的方式将这些知识碎片重新拼接在一起时,单元之间的关联才会浮出水面,而这些新建立的关联很可能就会产生潜在的知识发现。D. R. Swanson 教授将 Medline 数据库中标题数据作为研究基础,对标题中的单词进行词频统计,通过出现频次筛选、分析得到两个独立领域的主题词集,其中一个领域的主题词集包含主题 A 和 B,另一个领域的主题词集包含 B 和 C,从而使得两个独立领域之间通过公共词集 B 建立起 A 和 C 之间的关联,其研究主要集中在生物和医药领域,并取得很多重要发现[11-13]。随后 M. D. Gordon 和 R. K. Lindsay 对 Medline 数据库中的摘要数据进行分析,并把分析内容从单词换成短语,扩展了文本的分析范围[14]。为了缓解主题词筛选这一繁杂的过程,M. Weeber 利用 MetaMap 将自然语言全部映射为统一医学语言系统(Unified Medical Language System, UMLS),改善了不同文本数据中词语表述差异问题,极大降低了主题词筛选的工作量[15]。

随后,为了进一步完善和改进基于高频词的 LBD 方法,J. Stegmann 和 G. Grohmann 在 LBD 使用过程中加入共词分析方法,通过对 Medline 数据库中的 MeSH 词条进行共词聚类来确定领域主题,从而识别潜在的知识关联[16]。R. N. Kostoff 于 2008 年引入引文分析方法扩展文献分析范围,借助专家意见评判核心关键词,以此关键词搜索获取核心文献,设定核心文献的所有参考文献集为 A,所有引用 A 的文献集为 B,所有引用核心文献的文献集为 C,探索文献集 A、B、C 之间的关联关系,系统论述知识发现的分析过程,并将这种方法定义为 Literature Related Discovery(LRD)[17]。考虑到这种研究方法不仅发现新的知识关联而且会将新的发现与创新结合起来解决更多的研究问题,因此在其 2012 年发表的文献中正式将 LRD 方法变更为 Literature-Related Discovery and Innovation (LRDI)方法[8]。2015 年,在其发表的关于慢性肾病研究中,提出了最新的 LRDI 分析流程:通过分析核心文献 A 获取关于疾病的主要症状描述(记为 B),以 B 为关键词,获取所有能够消灭这些症状的文献集 C,从 C 中找出致使症状 B 的基本原因和治疗方式[18]。简单来说,即依赖症状 B 建立起疾病和治疗方案之间的关联。R. N. Kostoff 教授的 LRDI 分析方法经过多年的发展,应用领域也由最开始的医学、生物领域[19-23]到工程[24]、社会学[25]等领域,国内近年来也出现了将 LRDI 应用于航天[26]、农业领域[27]的研究。与 LBD 研究方法相比,LRDI 方法扩展了分析的文献范围,不仅在标题、摘要信息中提取关键词,而且引入标准词表:UMLS 词表、MeSH 词表等。同时分析的内容不再仅仅是单词或短语,而是上升到词之间的关联分析,进一步提升了知识发现的准确性。

现存的 LRDI 研究方法大都集中在关键词分析基础上,对于关键词之间的关联关系主要通过专家意见或共词分析获取,前者费时费力,后者容易导致关键词之间语义关系不明确。为了改善这种情况,本文引入了基于 Subject-Action-Object(SAO)结构的分析方法。SAO 分析是以事实为导向,起源于创新问题解决理论(TRIZ 理论),其中 Subject (S)表示解决方案 Solution (S)、Action-Object (A-O)表示具体研究问题 Problem (P),即问题——解决方案(P&S)方法[28]。与关键词相比,SAO 结构是基于研究内容构建语义关系,更能表征内容之间具体的关系。正是由于这一因素,当前基于 SAO 结构语义分析的应用非常广泛,比如挖掘专利数据的 SAO 结构并进行语义分析,从而对技术进行监测[29];基于 SAO 语义结构构建专利地图,识别技术竞争趋势[30];利用 SAO 结构语义分析构建技术路线图,预测新技术发展趋势及技术机会分析[31-34];构建技术树,规划技术发展情况[35];基于 SAO 结构计算专利之间的相似性,识别潜在的技术合作伙伴[36];比较 SAO 结构之间的相似性,判断专利侵权或者专利危机,要比基于关键词或者基于 IPC 分类号等分析方法更能准确地评估专利之间的相似程度[37-38];构建基于功能的目标领域技术数据库,为新问题找到解决方案[39];识别技术应用领域以及预测技术未来的应用领域[40];基于 SAO 结构构建技术路线图和合作网络图,分析每个技术领域内有潜力的合作伙伴[41]。

在前人的研究基础上,本文提出了一套用于创新解决方案遴选的系统化研究思路:以 Literature-Related Discovery Innovation (LRDI) [8]方法为指导,结合 Subject-Action-Object(SAO)语义分析,从目标研究领域内具体问题出发,在全领域内挖掘能够解决这一问题的解决方案,综合评比后,获取评分较高的作为目标研究领域创新解决方案,研究思路如图 1 所示:

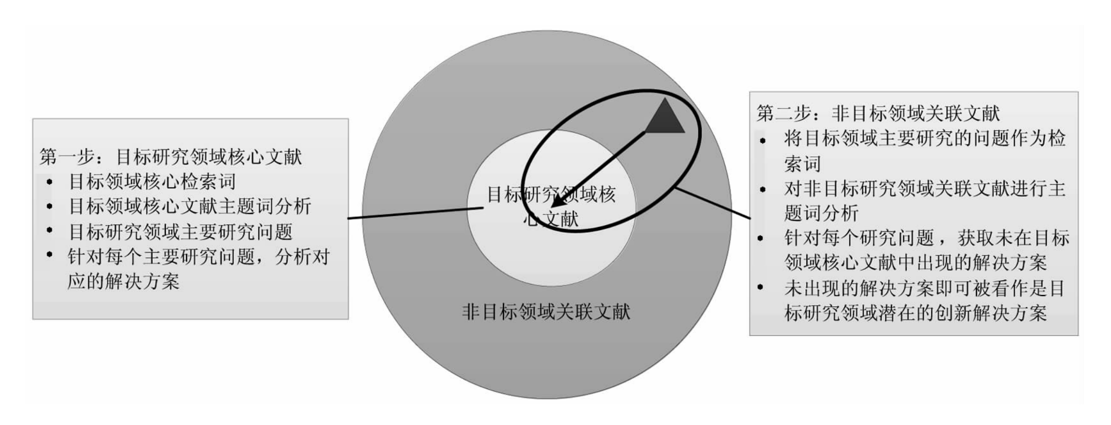


图1 创新解决方案分析示意

2 创新解决方案遴选研究

本文所构建方法的分析流程分为两步：①找到目标领域研究热点当前涉及的核心技术以及解决的问题；②创新解决方案的遴选：以上述研究问题为出发点，在全领域中检索能够解决该问题的解决方案，经过评价筛选后，获取排名比较靠前的作为目标研究领域创新解决方案。在这两步分析流程中，较之前基于关键词的分析方法，本文采用SAO语义分析方法，更好地揭示领域内研究问题与解决方案之间的关系。同时基于研究问题，识别不同领域解决方案之间的关联关系，经过评分后筛选出目前领域的创新解决方案。本文基于SAO结构的创新解决方案遴选流程见图2，详细分析步骤如下：

(1)目标领域研究热点核心技术以及解决的问题分析。

• 数据获取及预处理。制定目标研究领域检索策略，将下载的专利数据导入VP(VantagePoint)软件，整合专利的标题和摘要信息，对其进行分词处理后得到初始词表。利用主题词簇方法，经过一系列的清洗、合并、去除噪音数据后[42]，获取高频主题词表，为了进一步反映领域的核心研究内容，听取专家意见，获取最终的高频核心主题表。基于共现关系，对高频主题词进行聚类，获取目标研究领域所研究的主题方向以及研究热点。同时，将专利数据导入GoldFire Innovator软件[43]，基于目标领域研究热点，获取相应的SAO结构。

• 技术发展路径及具体解决问题分析。通过分析SAO结构中的S，对上一步骤中获取的SAO结构进行筛选、归类，以技术路线图的形式展示领域内研究热点当前的发展状况，分析获取研究热点主要涉及的核心技术以及具体解决的问题，归纳、汇总这些问题后，作为下一步分析的检索关键词。

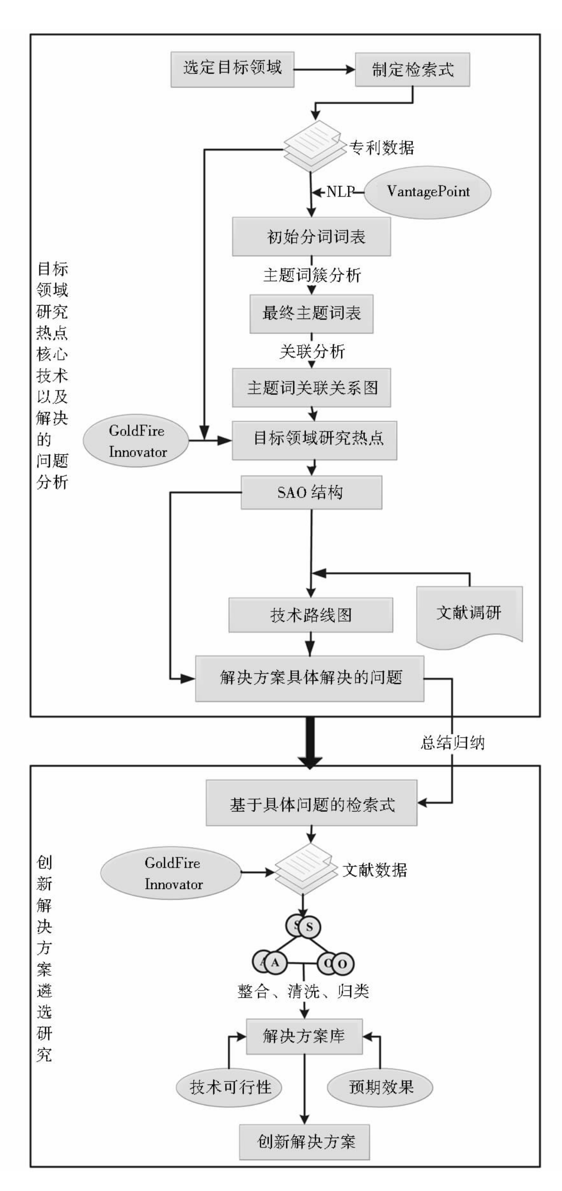


图2 创新解决方案遴选流程

(2)创新解决方案遴选。

• 以上一步中总结归纳的具体问题为检索词，在全领域文献数据库中检索，得到初始数据。

- 基于上述具体问题,利用 GoldFire Innovator 软件提取相应的 SAO 结构。
- 对得到的 SAO 结构进行整合、清洗并归类。
- 遴选创新解决方案。从技术可行性、预期效果两方面对获取的解决方案进行评价,并将排名靠前的解决方案作为目标研究领域潜在创新解决方案。

3 案例研究——以空气净化技术为例

近年来,“雾霾”问题备受关注。据《2014 中国环境状况公报》显示,全国开展空气质量新标准监测的 161 个城市中,仅有 16 个城市空气质量达标。持续恶化的空气污染严重危害人们的身体健康,空气净化器也因此受到人们的青睐。伴随着人们生活水平的不断攀升,对生活环境的要求不断提高,空气净化器未来的市场前景非常广阔。因此,本文以空气净化技术为例,利用上述分析流程探索空气净化领域的创新解决方案。

3.1 目标领域研究热点核心技术以及解决的问题分析

3.1.1 数据预处理

(1) 获取源数据。空气净化领域检索式为:TS = (“air cleaner * ” or “air purifier * ”),选取 Derwent Innovations Index 作为检索数据库,考虑到国内开始大规模关注空气净化始于 2011 年底美国驻中国大使馆公布了北京 PM2.5 检测值,因此检索时间跨度为 2012 – 2016 年,最终获取 9 517 条专利数据。

(2) 主题词分析。本步骤主要用于梳理目标研究领域当前的研究热点。

- 将原始专利数据导入 VantagePoint 软件,将专利数据的标题和摘要进行合并,并对其进行自然语言处理,得到初始分词结果,在本案例中一共得到 120 122个分词。
- 基于主题词簇方法对分词清洗合并,最终获取 2 102 个主题词。结合专家意见,最终挑选出 229 个能够反映空气净化领域核心研究内容的高频核心主题词。为直观地展示这些高频核心词所在研究主题方向,对其做关联分析,具体步骤如下:

第一步:利用 VP 软件做高频核心关键词的共现矩阵,并将该矩阵导入 Gephi 软件,构建共现网络图,见图 3。

第二步:考虑到在网络图中,中介中心度反映的是节点对其他节点之间最短路径的桥梁作用,因此能够很容易地找到连接两个不同类别的关键节点。因此,在 Gephi 软件中,计算这些高频核心词的中介中心度(Betweenness Centrality,BC),并剔除度数为 0 的节点。

第三步:计算节点的模块化指数(Modularity Class, MC)。

基于 DC 和 MC 指数,得到高频关键词共现网络图,见图 3。图中节点代表高频词,节点标签是高频关键词的内容,节点的大小由中介中心度标记,节点越大说明该关键词所在主题的研究热度越高。节点之间的连线表示高频词有共现关系,边的权重表示高频词之间共现的次数。节点的颜色按照模块化指数分类,模块化指数反映的是节点的集中趋势,因此同一个颜色的节点之间关系较为紧密。

通过图 3 中节点的颜色,可以很容易地看出空气净化技术领域最受关注的是有效净化问题,即图中最大的节点。与有效净化节点颜色相同且关联紧密的上方节点包括:能源消耗、产品成本等,均是用来衡量空气净化使用效果的高频词。其次,与“efficient purification”联系较为紧密下方节点,分别代表空气净化器中的净化技术:活性炭过滤网、负离子、HEPA(High Efficiency Particulate Air)网以及光催化技术等高频词。图 3 中左上角关联节点代表空气检测装置,如 PM2.5 传感器、甲醛传感器等;右上角关联节点表示空气中可挥发性有机物(Volatile Organic Compounds,VOCs),是空气净化器重点清除的对象;右方四个关联节点表示粉尘、颗粒等污染物,一般采用 HEPA 网即可解决。

通过上述分析可知,空气净化领域主要研究问题可概括为通过各种净化技术改善净化效率。就图 3.1 中出现的 4 种比较重要的净化技术,综合评估其发展前景之后,最终将本文研究聚焦在光催化技术上。

- 提取 SAO 结构。本文选用 GoldFire Innovator 软件,从光催化技术相关专利数据的标题和摘要信息中提取 SAO 结构。由于 GoldFire Innovator 软件是基于 P-S(Problem-Solution)模式提取语义结构,光催化技术主要的作用是催化降解。因此以光催化降解作为关键词输入 GoldFire Innovator 软件,提取相关的解决方案,作为 SAO 结构中的 S。光催化降解的污染物作为 SAO 结构中的 O,问题(O)和解决方案(S)之间涉及的动词作为 SAO 结构的 A,如 improve、reduce 等。人工修正后,最终共得到 236 条有效 SAO 结构数据。

3.1.2 技术路线图及具体解决问题

光催化技术主要涉及载体、活性组分和助催化剂三部分。其中活性组分是光催化剂中最重要的部分,并以二氧化钛材料为主。助催化剂是催化剂的辅助成分,其本身没有活

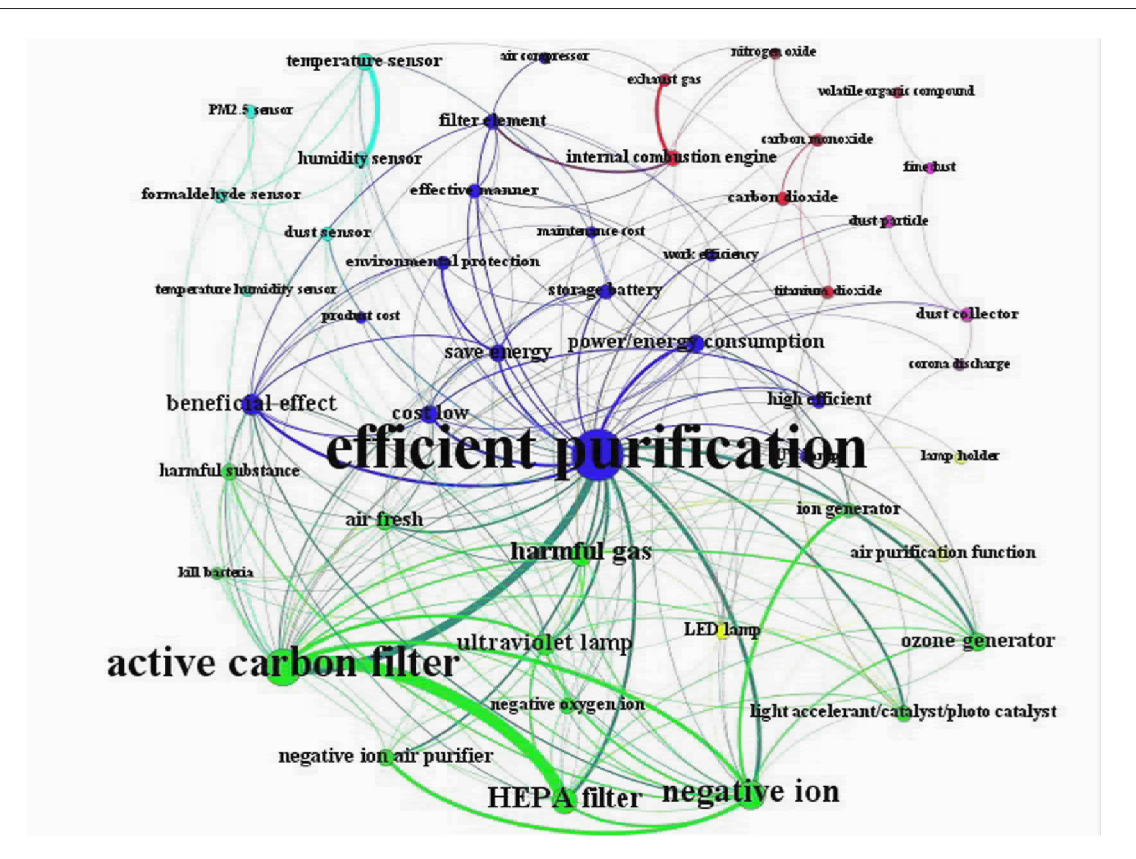


图3 高频关键词共现网络

性或者活性很低，但把它加到催化剂中后，有助于改善和增大光催化剂的活性[44]，因此常把助催化剂看作是光催化活性材料的一部分。而载体主要是承载光催化剂、助催化剂的部件，由于篇幅有限，本文在此不予讨论。

为更加详细地描述光催化活性材料的发展情况，进一步分析上一步骤中获取的SAO结构中的S，将光催化活性物质细分为三类：TiO_2结构层、TiO_2混合光催化材料、除TiO_2之外的光催化材料，见表1。随后将236条SAO结构中的S按照表1中的分类依据进行归类，其结果如图4(光催化活性组分发展状况图)所示。该图中，横坐标表示年份，纵坐标表示活性材料划分的3个类别，节点标签表示SAO结构中的S，节点颜色表示其所属的光催化活性材料类别。其中，最底层红色表示TiO_2结构层，中间绿色表示TiO_2混合光催化材料，最上层紫色表示除TiO_2之外光催化材料。

表1 光催化技术划分说明表

领域	第一层	第二层
光催化技术	活性物质(active component)	The Structure of TiO_2
		Photo catalyst materials mix with TiO_2
		Other photo catalysts except TiO_2

从图4中可以很直观地看出：①当前光催化活性材料以锐钛矿型二氧化钛为主。②为保证光催化材料在室内光的激发下也能发生光催化反应，需要对二氧化钛材料进行改性。改性的方式主要有两种：一是掺杂其他材料，既有非金属碳等材料，也有金属锌、铜、铝等；二是与其他类型的光催化材料混合，常用的有石墨烯、氧化锌、氧化铜等。由图4也可以看出，对TiO_2材料掺杂改性的研究相对较多，除去对TiO_2单物质改性研究之外，又发展为对二氧化钛混合催化剂进行金属或者非金属掺杂改性处理。③近年来，研究人员一直都在寻找TiO_2替代物，虽有所发现，但其催化效果与TiO_2相比还存在不少差距。

由于空间有限，在图4中仅展示SAO结构中的S。但为了获取光催化降解技术具体解决的问题，还需要进一步对SAO结构中的O进行分析。归纳汇总所有结构O之后得到，光催化降解技术具体解决的问题可分为三类：①催化杀死、消灭空气中细菌、病毒、真菌；②催化分解挥发性有机物(VOCs)，如甲醛、苯系有机物、醚等；③催化分解无机污染物：一氧化碳、氮氧化物、硫氧化物等。接下来将以这些具体问题为出发点，在全领域中检索解决方案，并将评分比较高的作为空气净化技术领域的创新解决方案予以推荐。

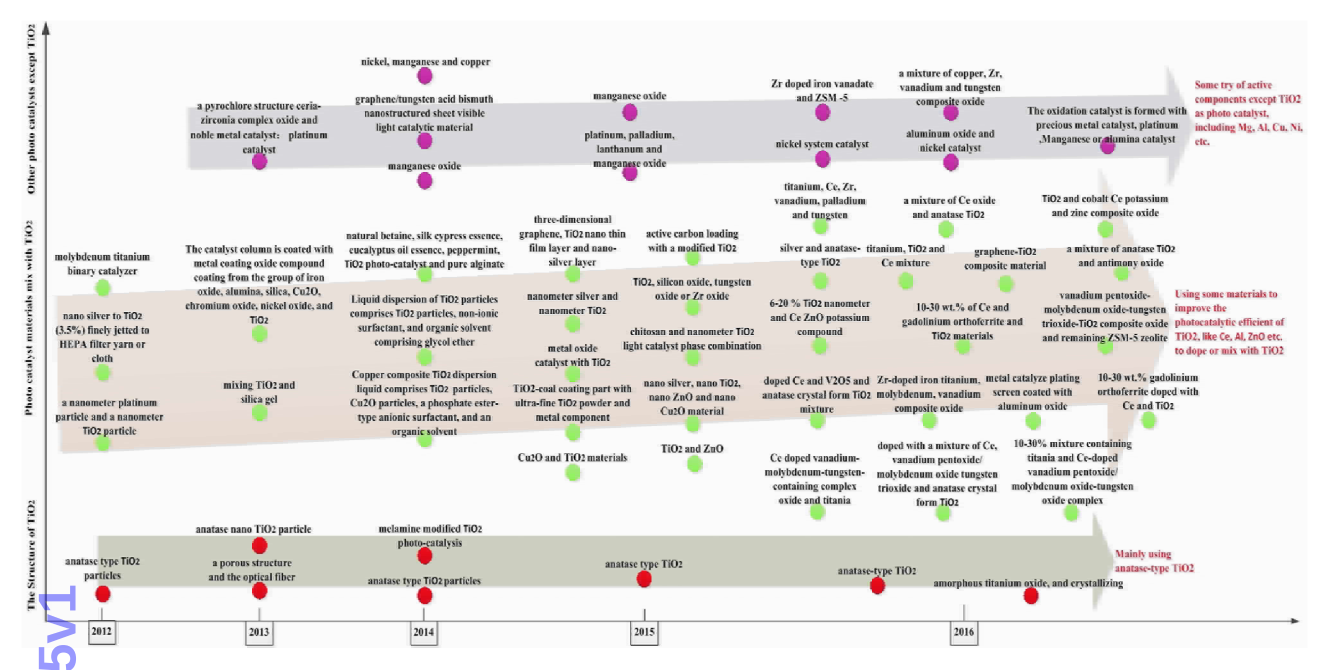


图 4 活性组分发展状况

3.2 创新解决方案遴选流程

3.2.1 数据预处理

(1) 获取源数据。将 3.2 节中分析得到的光催化降解技术具体解决的问题作为检索关键词,使用 SCI-EXPANDED 数据库,年份限制在 2015 – 2016 年,文献类型为 article 和 review。具体的检索关键词以及检索结果如表 2 所示:

表 2 检索式

序号	检索词	检索结果(条)
1	#1;TS = ((((" bacterium * " or " virus * " or " bacteria * " or " fungi * " or " fungus * " or " germ * ") and " air") or " carbon monoxide * " or " ozone" or " nitrogen * oxide * " or " sulfur dioxide" or " formaldehyde * " or " benzene * " or " organic pollut * gas * " or " * volatil * organic matter * " or " * Volatil * organic compound * " or " VOC" or " VOCs" or " TVOC * " or " air toxic * " or " harmful gas * " or " poisonous gas * " or " toxic substance * " or " harmful air" or " toxic gas * " or (Pollut * NEAR air)) and (" light * catalyzer" or " light * catalyst" or " light * catalytic" or " photo * catalytic" or " photo * catalyst" or " photo * catalyzer")) 索引 = SCI-EXPANDED 时间跨度 = 2015 – 2016	898
2	#2: TS = (air NEAR (conditioner * or clean * or purifi * or purg * or filter * or filtration *)) 索引 = SCI-EXPANDED 时间跨度 = 所有年份	19 416
3	#1 NOT #2 索引 = SCI-EXPANDED 时间跨度 = 2015 – 2016	817
4	#1 NOT #2 精炼依据: 文献类型: (ARTICLE OR REVIEW) 索引 = SCI-EXPANDED 时间跨度 = 2015 – 2016	816

(2) SAO 结构提取。本文采用 GoldFire Innovator 软件,从文献数据的标题和摘要信息中提取 SAO 结构,人工修正后,共得到 168 条有效 SAO 结构。

(3) SAO 结构归类。由前文的分析可知,光催化技术主要分为两类:二氧化钛相关催化技术和除二氧化钛外的其他催化技术。因篇幅有限,本文仅对二氧化钛相关催化技术进行分析。

3.2.2 空气净化领域光催化技术的潜在创新解决方案 为了更好地评价、筛选获取的解决方案,本文对得到的解决方案先进行详细的分类。通过分析归纳 SAO 结构中 S 所表示的内容,将二氧化钛光催化技术又细分为五大类:TiO_2 结构、TiO_2 与非金属离子掺杂、TiO_2 与金属离子掺杂、TiO_2 与金属及非金属共掺杂、复合材料。除 TiO_2 和金属及非金属共掺杂技术点之外,对其他 4 个大类分别进行二级划分,具体内容见表 3。

考虑到本文的研究重点是:找到能够有效光催化降解有害物质的解决方案,因此主要从技术、效果两个角度对获取的解决方案进行评价。评价指标主要包括:技术可行性(成熟度、可操作性)、预期效果(适用范围、净化效果、净化时长),见表 4。

表 3　TiO_2 光催化技术领域技术分类

光催化技术	第一层技术点	第二层技术点
TiO_2 光催化技术	TiO_2 结构	金红石型(T1)
		锐钛矿型(T2)
	TiO_2 与非金属离子掺杂	单非金属元素(T3)
		多非金属元素(T4)
	TiO_2 与金属离子掺杂	单金属元素(T5)
		多金属元素(T6)
	TiO_2 和金属及非金属共掺杂(T7)	–
	复合材料	TiO_2 复合材料(T8)
		非金属离子掺杂复合材料(T9)
		金属离子掺杂复合材料(T10)
		金属与非金属共掺杂复合材料(T11)

表 4　指标体系构建及说明

评选角度	具体指标	指标说明
技术可行性	成熟度(F1)	当前方案中的技术是否已经发展成熟
	可操作性(F2)	解决方案是否易于操作和实现
预期效果	适用范围(F3)	解决方案能够解决的问题
	净化效果(F4)	对于污染物的净化率
	净化时长(F5)	持续净化时间

采用专家访谈和专家打分的方法，获取每个指标的权重以及每类解决方案在不同指标下的评分。本文在研究过程中，通过邮件邀请领域内 13 位专家填写调查问卷，其形式见表 5，最终收到 7 份有效反馈，同时又与 3 名领域专家就调查问卷中涉及到的问题进行面谈。最终获得 10 份有效结果，采用取平均的方法确定每个指标的权重(用字母 W 表示)、每个技术分类在每一项指标下的评分(用字母 P 表示)，具体结果如表 5 所示。在此基础上，获取每类解决方案的最后综合得分 S，S 的计算公式如下：

$$S_i = \sum_{j=1}^{5} W_j * P_{ij}, i = 1, 2, \cdots, 11 \quad 公式(1)$$

其中，W_j 表示评价指标 Fj 的权重；P_{ij} 表示技术分类 Ti 在每个指标 Fj 下的评分。对获取的解决方案按照涉及的技术分类进行评分，选取得分位于前两位的解决方案，一共 16 个，见表 6。

分析表 6 中的解决方案可以发现，有些解决方案已经出现在空气净化领域(表中用黑斜体标出)，如 P25(二氧化钛)＋银＋石墨烯三元复合光催化材料，该方案同时还被应用于废水处理。这些结果也进一步证明本文所提出的研究思路是有效的。

表 5　指标权重及各技术分类评分

评价指标(指标打分 0－5 分)	指标权重(0－5 分)	二氧化钛相关光催化剂										
		TiO_2 结构		TiO_2 与非金属离子掺杂		TiO_2 与金属离子掺杂		TiO_2 和金属及非金属共掺杂	复合材料			
		金红石型	锐钛矿型	单非金属元素	多非金属元素	单金属元素	多金属元素		TiO_2 复合材料	非金属离子掺杂复合材料	金属离子掺杂复合材料	金属与非金属共掺杂复合材料
成熟度	3	5	5	3	2	4	3	2	4	3	2	2
可操作性	4	5	5	4	3	4	3	2	4	3	3	2
适用范围	3	3	4	3	4	3	4	4	5	5	5	5
净化效果	5	1	3	4	4	4	4	5	4	4	4	5
净化时长	5	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	5
方案综合得分(S)	–	69	77	74	70	77	73	76	83	76	73	79

表 6　TiO_2 催化技术相关的创新解决方案遴选结果

研究问题	解决方案	应用领域	方案评分
Enhance photocatalytic activity	Bi_2O_3/TiO_2 heterojunctions	–	83
Degradation of harmful inorganic pollutants (NOx, Sox, Cox etc.)	Graphene-supported $CoPc/TiO_2$	–	83
Degradation of VOCs and kill bacteria	***P25/silver orthophosphate/graphene oxide (P25/Ag_3PO_4/GO) ternary composite materials***	废水处理	83
Degradation of VOCs and harmful inorganic pollutants	2 wt% Cu_2O-TiO_2-GO nanosheets into unsaturated polyester resin (UPR) matrix	–	83
Degradation of VOCs(formaldehyde, benzene etc.)	***Anatase TiO_2-graphene oxide (GO) nanocomposites***	–	83
	ZnO ＋ Zn_2TiO_4 multicomponent oxide thin films as photocatalysts	–	83
	monolayer V_2O_5/TiO_2 catalyst	–	83
	TiO_2/CeO_2 nanocomposites of anatase TiO_2 nanoparticles	–	83
	$TiO_2/BaBiO_3$ composites	–	83

（续表 8）

研究问题	解决方案	应用领域	方案评分
	Ag_2O-TiO_2/sepiolite heterostructure composites	–	83
	TiO_2 nanotube arrays supporting V_2O_5 nanoparticles	–	83
	palygorskite/goethite/TiO_2 composites	–	83
	Fe_2O_3 – TiO_2 core-shell nanorod arrays with specific crystalline states	–	83
	$FeTiO_3$/TiO_2 photocatalysts	–	83
	Bi_2MoO_6/TiO_2 heterostructures	–	83
	nanocrystalline Fe3 + /F – co-doped TiO_2 – SiO_2 composite film	废水处理	79
	active Ce/F codoped TiO_2 – ZnO composite films	–	79
	(N, Fe)-codoped activated carbon (AC)/TiO_2 photocatalyst	废水处理	79

考虑到与空气污染处理领域的近似性，水净化领域解决方案评分较高是必然的，据此也可说明水净化领域的解决方案在空气净化领域的可移植性较高。而从其他领域中筛选出来的解决方案，由于使用环境等因素不同，可能需要经过一定的改善才可移植到空气净化领域。评分较高的解决方案中仅包括水净化领域中的解决方案，也进一步说明本文的指标设计及其权重设置是合理的。

本文所列出的这些潜在创新解决方案为空气净化领域的研究人员提供了更多的备选方案以及可以思考的方向，同时节省研究人员翻阅海量资料的时间。特别是对于新进入目标研究领域的研究人员，这些创新解决方案能够帮助他们快速进入目标研究领域并开展相应的研究工作。

4 结论

本文提出的研究方法，旨在通过科学的手段和方法，从目标领域具体研究问题出发，在全领域中探索知识之间的深层次关联，为科研人员提供创新解决方案。从理论的角度看，相较于前人将本领域的技术和知识推广到外领域，从而找到技术机会，本文的研究思路则是将外领域的技术和知识应用于目标领域，实现目标研究领域的再创新。另外，本文的研究方法是以关联文献知识发现分析和创新（LRDI）方法为指导，通过引入 SAO 结构分析方法进一步探索主题词之间的语义关系，深层探索间接相关文本数据之间的关系。本文的案例研究结果也进一步显示了该方法的有效性：最终遴选出来的解决方案，在空气净化领域也有相关应用。但是，由于种种因素的限制，本文依然存在一些不足之处：

（1）由于篇幅有限，本文仅对空气净化领域的光催化技术进行深入研究，后期可以研究空气净化领域涉及到的所有技术热点，为空气净化领域提供更多创新解决方案。

（2）本文主要的研究内容是遴选出比较有潜质的创新解决方案，因此仅从技术可行性、预期效果两方面对获取的解决方案进行评价。后期可以在此基础上，继续从经济、社会等方面开展更加全面的评价，以此来判断解决方案的实际应用价值。同时，也希望能够借助更加先进的分析手段和方法，进一步减少对专家评审的依赖性，进一步加强和保证评审结果的客观、公正。

（3）本文仅从专利、文献数据的摘要和标题中提取 SAO 结构，后期如果 SAO 结构提取软件足够智能化，可考虑从全文数据中提取 SAO 结构，这样分析结果将更加全面。

参考文献：

[1] YOON B, PARK I, COH B Y. Exploring technological opportunities by linking technology and products: application of morphology analysis and text mining [J]. Technological forecasting & social change, 2014, 86: 287 – 303.

[2] DAIM T U, RUEDA G, MARTIN H, et al. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis [J]. Technological forecasting & social change, 2006, 73(8): 981 – 1012.

[3] CHESBROUGH H. Open services innovation: rethinking your business to grow and compete in a new era [M]. San Francisco: Jossey-Bass Wiley, 2010.

[4] ZHU D, PORTER A L. Automated extraction and visualization of information for technological intelligence and forecasting [J]. Technological forecasting & social change, 2002, 69(5): 495 – 506.

[5] BARKER D, SMITH D J H. Technology foresight using roadmaps [J]. Long range planning, 1995, 28(2): 21 – 28.

[6] WANG X F, MA P P, HUANG Y, et al. Combining SAO semantic analysis and morphology analysis to identify technology opportunities [J]. Scientometrics, 2017, 111(1): 3 – 24.

[7] YOON J, PARK H, SEO W, et al. Technology opportunity discov-

ery (TOD) from existing technologies and products: a function-based TOD framework [J]. Technological forecasting & social change, 2015, 100: 153－167.

[8] KOSTOFF R N. Literature-related discovery and innovation-update [J]. Technological forecasting & social change, 2012, 79: 789－800.

[9] SWANSON D R. Fish oil, Raynauds sumdrome, and undiscovered public knowledge [J]. Perspectives in biology and medicine, 1986, 30(1): 7－18.

[10] 田瑞强,姚长青,潘云涛. 关联文献的知识发现与创新研究进展[J]. 情报理论与实践,2013,36(8): 117－123.

[11] SWANSON D R. Migraine and magnesium-Ⅱ neglected connections [J]. Perspectives in biology and medicine, 1988, 31(4): 526－557.

[12] SWANSON D R. Somatomedin-C and arginine-implicit connections between mutually isolated literatures [J[. Perspectives in biology and medicine, 1990, 33(2): 157－186.

[13] SWANSON D R. SMALHEISER N R. Information discovery from complementary literatures: categorizing viruses as potential weapons [J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology, 2001,52(10): 797－812.

[14] GORDON M D, LINDSAY R K. Toward discovery support systems: a replication, re-examination, and extension of Swanson's work on literature-based discovery of a connection between Raynaud's and fish oil[J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology, 1996, 47(2): 116－128.

[15] WEEBER M, KLEIN H, BERG L, et al. Using concepts in literature based discovery: simulating Swanson's Raynaud-fish oil and migraine-magnesium discoveries [J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology, 2001, 52(7): 548－557.

[16] STEGMANN J, GROHMANN G. Hypothesis generation guided by co-word clustering [J]. Scientometrics, 2003, 56(1): 111－135.

[17] KOSTOFF R N. Literature-related discovery (LRD): Methodology [J]. Technological forecasting and social change, 2008, 75: 186－202.

[18] KOSTOFF R N, PATEL U. Literature-related discovery and innovation: chronic kidney disease [J]. Technological forecasting & social change, 2015, 91: 341－351.

[19] KOSTOFF R N, BLOCK J A, STUMP J A, et al. Literature-related discovery (LRD): potential treatments for Raynaud's phenomenon [J]. Technological forecasting & social change, 2008, 75(2): 203－214.

[20] KOSTOFF R N. Literature-related discovery (LRD): potential treatments for cataracts [J]. Technological forecasting and social change, 2008, 75(2): 215－225.

[21] KOSTOFF R N, BRIGGS M B. Literature-related discovery (LRD): potential treatments for Parkinson's disease [J]. Technological forecasting & social change, 2008, 75(2): 226－238.

[22] KOSTOFF R N, BRIGGS M B, LYONS T J. Literature-related discovery (LRD): potential treatments for multiple sclerosis [J]. Technological forecasting & social change, 2008, 75(2): 239－255.

[23] KOSTOFF R N. Literature-related discovery: potential treatments and preventatives for SARS [J]. Technological forecasting & social change, 2011, 78: 1164－1173.

[24] KOSTOFF R N, SOLKA J L, RUSHENBERG R L, et al. Literature-related discovery (LRD): water purification[J]. Technological forecasting & social change, 2008, 75(2): 256－275.

[25] VITAVIN I, KATSUHIDE F, YUYA K, et al. Finding linkage between technology and social issues: a literature based discovery approach [C] //Proceedings of PICMET'12: Technology Management for Emerging Technologies. Vancouver: IEEE, 2012.

[26] 曹志杰,冷伏海. 非相关文献知识发现方法在航天科技情报研究中的应用分析[J]. 情报理论与实践,2008 (4): 569－572.

[27] 黄水清,马俊岭. 汉语社会科学文献非相关文献知识发现的实证研究——以农业经济学文献为例[J]. 中国图书馆学报, 2009 (4): 31－38.

[28] MOEHRLE M G, WALTER L, GERITZ A, et al. Patent-based inventor profiles as a basis for human resource decisions in research and development [J]. R&D management, 2015,35(5): 513－524.

[29] GERKEN J M, MOEHRLE M G. A new instrument for technology monitoring: novelty in patents measured by semantic patent analysis [J]. Scientometrics, 2012, 91(3): 645－670.

[30] YOON J, PARK H, KIM K. Identifying technological competition trends for R&D planning using dynamic patent maps: SAO-based content analysis [J]. Scientometrics, 2013, 94(1): 313－331.

[31] 郭俊芳, 汪雪锋, 邱鹏君,等. 基于SAO分析的技术路线图构建研究[J]. 科学学研究, 2014, 32(7): 976－1002.

[32] WANG X, QIU P, ZHU D, et al. Identification of technology development trends based on subject-action-object analysis: the case of dye-sensitized solar cells [J]. Technological forecasting & social change, 2015, 98: 24－46.

[33] CHOI S, YOON J, KIM K, et al. SAO network analysis of patent for technology trends identification: a case study of polymer electrolyte membrane technology in proton exchange membrane fuel cells [J]. Scientometrics, 2011, 88(3): 863－883.

[34] YOON J, KIM K. Identifying rapidly evolving technological trends for R&D planning using SAO-based semantic patent networks [J]. Scientometrics, 2011, 88(1): 213－228.

[35] CHOI S, PARK H, KANG D, et al. An SAO-based text mining approach to building a technology tree for technology planning [J]. Expert systems with applications 2012, 39(13): 11443－11455.

[36] 温亮,邱鹏君,马萍萍,等. 基于SAO语义分析的潜在技术合作伙伴识别[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2017 (4): 91－96.

[37] BERGMANN I, BUTZKE D, WALTER L, et al. Evaluating the risk of patent infringement by means of semantic patent analysis: the case of DNA chips [J]. R&D management, 2008, 38(5): 550-562.

[38] PARK H, YOON J, KIM K. Identifying patent infringement using SAO based semantic technological similarities [J]. Scientometrics, 2012, 90(2): 515-529.

[39] CHOI S, KANG D, LIM J, et al. A fact-oriented ontological approach to SAO-based function modeling of patents for implementing function-based technology database [J]. Expert systems with applications 2012, 39(10): 9129-9140.

[40] 吴菲菲, 李倩, 黄鲁成. 基于专利SAO结构的技术应用领域识别方法研究 [J]. 科研管理 2014, 35(6): 1-7.

[41] 汪雪锋, 付芸, 邱鹏君, 等. 基于 SAO 分析的 R&D 合作伙伴识别研究[J]. 科研管理, 2015, 36(10): 19-27.

[42] 张嶷, 汪雪锋, 朱东华, 等. "主题词簇"方法研究——英文科技文献主题词清洗、合并与聚类[J]. 科学学研究, 2013 (11): 1615-1622.

[43] VICENTE-GOMILA J M. The contribution of syntactic-semantic approach to the search for complementary literatures for scientific or technical discovery [J]. Scientometrics, 2014, 100 (3): 659-673.

[44] 刘恢. 可见光响应光催化剂及其分解水的研究[D]. 上海:上海交通大学, 2008.

作者贡献说明:

付芸:提出研究思路,设计研究方案,实验案例数据采集、清洗、分析并撰写文章;

汪雪锋:研究思路的确定、研究方案的设计以及论文的修订;

李佳:参与案例数据处理;

侯雨佳:参与案例数据处理。

Research on Selection of Innovative Solutions Based on SAO Structure: A Case Study on Air Purification Technology

Fu Yun[1] Wang Xuefeng[2] Li Jia[2] Hou Yujia[2]

[1] National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

[2] School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081

Abstract: [**Purpose/significance**] Facing the increasingly competitive social environment, innovation is the foundation and the way of existence for enterprises. The scope of the innovation not only includes creating new products, technologies, etc. in the target research field, but also includes introducing new technologies, products, etc. from other research filed into the target field. The latter one is much easier to be accomplished. However, with the increasingly high degree of specialization in every disciplinary field, researchers have little time to grasp the knowledge besides their own research field. So it is needed to use scientific method and technology to explore the deep relationships between knowledge from different research fields. [**Method/process**] Using the analytical process of LRDI methodology, the paper proposes the research on selection of innovative solutions based on SAO structure, seeking for the potential solutions in whole research field based on the specific problems from target research field. The paper evaluates these potential solutions from the aspects of the technical feasibility and expected results and gives priority to recommend the solutions as innovative solutions for target research field. An exploratory study is conducted on air purification technology for this systematic process. [**Result/conclusion**] The research shows that some of the selected innovative solutions have been effectively used in air purification field, which also verify the proposed research method is feasible and valid.

Keywords: innovative solutions SAO structure LRDI technology roadmap air purification technology